

ESTIMACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DEL VOLUMEN APROVECHABLE PARA ESPECIES COMERCIALES DE LA SELVA MISIONERA BAJO LA REGLA DEL DIÁMETRO MÍNIMO DE CORTA ANTE DIFERENTES ESCENARIOS DE CRECIMIENTO Y DURACIÓN DEL CICLO DE CORTA.

LOGGING VOLUMEN RECOVERY FOR COMMERCIAL SPECIES OF THE FOREST OF MISIONES ACCORDING TO THE MINIMUM CUTTING DIAMETER, VARIOUS FOREST MANAGEMENT SCENARIOS AND CUTTING CYCLES

Fecha de Recepción: 10/09/2020 // Fecha de Aceptación: 12/02/2021

Martin Alcides Pinazo

M.Sc. Silvicultura. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). EEA Montecarlo. Av Libertador 2472. Montecarlo. Misiones. pinazo.martin@inta.gob.ar

Marcelo Fabián Arturi

Dr. Ciencias Biológicas. Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales y Facultad de Ciencias Naturales y Museo. marceloarturi@gmail.com

RESUMEN

La utilización de modelos predictivos como herramientas para la planificación forestal es necesaria para lograr la sostenibilidad en la obtención de productos del bosque y evitar su degradación. El objetivo del presente estudio fue estimar la recuperación del volumen aprovechable de 6 especies comerciales de la Selva Misionera bajo diferentes escenarios de crecimiento y duración del ciclo de corta. Se ajustaron modelos de crecimiento y estimaron tasas de incorporaciones a partir de datos de parcelas permanentes de muestreo. La mortalidad post aprovechamiento se estimó a partir de modelos existentes para bosques tropicales. Las estimaciones mostraron la recuperación del stock volumétrico total transcurridos 40 años bajo crecimiento máximo, 60 años bajo crecimiento medio y más de 60 años a tasas de crecimiento mínima. A nivel de especie, solo 3 especies recuperarían su stock transcurridos 20 años bajo tasas de crecimiento máxima. Bajo tasa media la mayoría de las especies necesitarían 40 años para su recuperación. Los resultados indican que, para lograr la sostenibilidad del recurso, los planes de manejo deberían contemplar estimaciones de posibilidad para cada especie en particular y considerar periodos de tiempo superiores a 40 años de edad para recuperar el volumen extraído.

Palabras clave: Incremento, modelos, manejo forestal, bosque nativo.

SUMMARY

Sustainable forest management require the use of predictive growth models to allow similar levels of forest products through time and avoid forest degradation. The aim of this study was to estimate the volume recovery of 6 commercial species from the forest in Misiones under different growth scenarios and felling cycle length. From permanent sampling plots data, growth models were adjusted and ingrowth rates were estimated. Post-harvest mortality was estimated from existing models for tropical forests. Projections showed the recovery of the total volumetric stock after 40 years under maximum growth rates, 60 years under mean growth rates and more than 60 years at minimum growth rates. At species level, only 3 species would recover their stock after 20 years under maximum growth rates. Under mean growth rates most species will take 40 years to recover. Results indicate that to achieve the sustainability, forest management plans should contemplate harvestable estimates for each species and consider periods of time greater than 40 years of age to recover the harvested volume.

Key words: Increment, models, forest management, native forest.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos principales del manejo forestal es asegurar la provisión sostenida de bienes y servicios del bosque (PUTZ *et al.*, 2012). La producción de madera constituye, en la mayoría de los bosques, el principal ingreso económico que justifica el manejo, planificación y conservación de la superficie boscosa (FREDE-RICKSEN y PUTZ, 2003). La estimación de la producción a futuro de madera del bosque es una herramienta determinante para evaluar la sostenibilidad de la producción a largo plazo. Para realizar una evaluación realista es necesario conocer las tasas de crecimiento, mortalidad y regeneración del bosque o de las especies sujetas a manejo (VANCLAY, 2003).

La provincia de Misiones posee una superficie boscosa de 1.612.558 hectáreas constituyendo uno de los remanentes más importantes del boque atlántico. En el marco de la ley nacional 26.331, la provincia posee 901.617 ha definidos como bosques nativos categoría II, categoría que exige la conservación de la cobertura boscosa y admite el uso maderero selectivo como actividad productiva. Estos bosques se encuentran con diferentes grados de degradación como consecuencia de la extracción maderera del tipo selectiva. Esta extracción se ha centrado en el apeo de los ejemplares de mayor tamaño y particularmente concentrada en las especies más valiosas y por lo tanto poseen un potencial económico reducido (CAMPANELLO *et al.*, 2019). La legislación provincial estipula la presentación de planes de manejo para el uso maderero del bosque bajo la regla del diámetro mínimo de corta como única medida de regulación de la posibilidad a extraer. A pesar que la reglamentación no especifica los volúmenes máximos a extraer, la autoridad de aplicación autoriza, por regla general, la extracción de 10 m³/ha bajo ciclos de corta de 10-15 años (CAMPANELLO *et al.*, 2019). Por otra parte, la normativa no exige la aplicación de técnicas de aprovechamiento forestal de bajo impacto ni la aplicación de técnicas probadas de manejo que aumenten las tasas de crecimiento de manera que se aseguren los volúmenes para los ciclos posteriores. Por lo tanto, los propietarios de los bosques no aplican manejo alguno del bosque aprovechado (CAMPANELLO *et al.*, 2019).

Numerosos estudios demuestran, para bosques tropicales y subtropicales manejados bajo la regla del diámetro mínimo de corta, la necesidad de aplicar turnos mayores a los 40 años para lograr la recuperación del stock extraído por las actividades de aprovechamiento forestal (SIST *et al.*, 2003; KAMMESCHIEDT *et al.*, 2001). La sostenibilidad del recurso forestal demanda la obtención continua de los volúmenes a extraer en los sucesivos ciclos de corta. Para ello resulta necesario disponer de datos de crecimiento, mortalidad e incorporación para las especies bajo manejo. Con estos datos es posible aplicar diferentes herramientas para realizar las proyecciones del bosque, estimar la estructura futura y realizar cálculos de la posibilidad factible de extraer bajo diferentes escenarios teniendo como objetivo el principio de sostenibilidad de los volúmenes posibles de extraer en los sucesivos ciclos de producción (VANCLAY, 1994).

El presente estudio tiene por objetivo estimar la recuperación del volumen de madera a extraer bajo la regla del diámetro mínimo de corta para *Cabralea canjerana*; *Balfourodendron riedelianum*, *Apuleia leiocarpa*, *Cordia trichotoma*, *Didimopanax morototoni*, *Myrocarpus frondosus* y *Ocotea diospyrifolia* mediante la simulación del aprovechamiento, diferentes escenarios de crecimiento y duración del ciclo de corta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos se obtuvieron en el Campo Anexo Manuel Belgrano (26° 04' de Latitud Sur, 53° 45' de Longitud Oeste, altitud 600 m.s.n.m), Departamento Manuel Belgrano, provincia de Misiones, dependiendo administrativamente de la Estación Experimental Agropecuaria Montecarlo del INTA. El clima es subtropical húmedo, con régimen pluviométrico isohigro, considerando que en cualquier estación o mes del año puede haber sequía o abundantes precipitaciones, con temperatura media anual de 23,3 °C y media mínima de -7,0 °C. La humedad relativa anual es de 76% y la precipitación media anual es de 2.137,5 mm (CORREA *et al.*, 2003). La vegetación original de la región, definida por CABRERA (1976) como "Selva de Laurel, Guatambú y Pino", se caracteriza por un estrato arbóreo dominante donde predomina *Araucaria angustifolia*. Los bosques de esta propiedad han sido sometidos a aprovechamientos selectivos en los años 60-70, sin registrarse nuevas intervenciones ni prácticas de manejo hasta el momento de instalación de la experiencia.

Con el objeto de evaluar el efecto del tratamiento de corta de lianas y tacuaras sobre el crecimiento, regeneración y mortalidad, se instalaron durante los años 2006, 2007 y 2011 en diferentes sectores de la propiedad, 6 parcelas permanentes de muestreo de 1 ha de superficie. Las parcelas se instalaron de forma apareada o de a pares aplicando a una de ellas un tratamiento de corte de lianas y tacuaras, quedando la parcela pareada como testigo o sin tratamiento. De esta manera, la totalidad de las parcelas representó 6 hectáreas de ensayo (3 repeticiones). En ningún caso se realizó la corta o apeo de individuos dentro de las mencionadas parcelas. La instalación se llevó a cabo mediante la generación sobre el terreno de una cuadrícula de 100 m x 100 m con subdivisiones de 10 m x 10 m. En cada subdivisión se mapearon, mediante cinta métrica, todos los individuos con DAP > 10 cm, se refirieron a un sistema de coordenadas x-y, se identificaron a nivel de especie, se midió el DAP y se estimó la longitud del largo de fuste aprovechable. Todos los individuos fueron identificados mediante chapa numerada. En las parcelas correspondientes al tratamiento de corte de lianas y tacuaras, se procedió al corte de las mismas mediante el empleo de machete. Posteriormente se realizaron mediciones bianuales del diámetro, totalizando 6 años de mediciones. En cada remediación se registraron los individuos que superaron los 10 cm DAP y los individuos muertos.

A partir de los datos de diámetro a la altura del pecho de todos los individuos presentes de las especies bajo

estudio, se estimaron las frecuencias promedios o densidad promedio de individuos por hectárea para las diferentes clases diamétricas y se generaron las distribuciones de frecuencia por clase diamétrica en función del DAP.

Estimación del crecimiento

A partir de las remediciones bianuales se determinaron los valores de crecimiento diamétrico. Estos valores fueron utilizados para realizar el ajuste de los modelos de crecimiento considerando todos los individuos presentes en las parcelas. Al disponer de un set de datos reducido para las diferentes especies, inicialmente se estimaron curvas de incremento máximo, medio y mínimo a partir de la metodología propuesta por LIEBERMAN y LIEBERMAN (1985). Este modelo permite una estimación probabilística del incremento a partir de un set reducido de datos, permitiendo además obtener tasas de crecimientos máximos y mínimos, la mediana de la tasa de crecimiento y la expectativa de supervivencia entre otros parámetros. El modelo trabaja sobre una matriz $n \times 2$, donde el elemento D_{ij} es el DAP del individuo i th en el año J th, siendo $J=1$ a 2. Los individuos (filas de la matriz) son ordenados en forma ascendente según su DAP inicial. Una trayectoria de crecimiento es construida, permitiendo a un individuo de DAP=10 cm crecer, utilizando incrementos específicos relacionados al tamaño. Estos valores de incremento son obtenidos a partir de los datos surgidos a partir de las sucesivas mediciones en las parcelas permanentes. El incremento es elegido al azar usando la matriz de datos a partir de un pequeño grupo de individuos con diámetro similar al árbol seleccionado, en cada periodo durante todo el periodo de simulación. De esta manera, el modelo genera un conjunto de trayectorias que está determinada por los datos. Se realizaron 1000 simulaciones para cada especie y se definieron las curvas de incremento mínimo, medio y máximo como las correspondientes a los percentiles 10, 50 y 90 de esas simulaciones. El crecimiento medio fue estimado como la curva definida por la mediana de las estimaciones mediante la generación de un script para R. Una vez obtenidas las curvas y para parametrizar las curvas generadas y poder disponer de un modelo de crecimiento se ajustó el modelo de RICHARDS (1959).

- Ecuación (1) $Dap = D * [1 - b * exp(-k * t)^{1/1-m}]$

A partir de esta ecuación es posible despejar el tiempo para estimar el tiempo o edad.

- Ecuación (2) $t = \frac{\ln \left[\frac{\left(\frac{Dap}{D} \right)^{1-m} - 1}{\pm b} \right]}{-k}$

t: tiempo (años); D: diámetro asintótico (cm); Dap: diámetro (cm); k y m: parámetros de la ecuación.

Como sólo se dispuso datos a partir de 10 cm de DAP, se consideró como edad al tiempo transcurrido a partir que el individuo alcanzó ese tamaño. Los parámetros resul-

tantes de los ajustes para cada especie se presentan en la tabla 1.

Con el objeto de estimar la recuperación de las existencias aprovechables, se realizaron estimaciones prospectivas del crecimiento máximo, mínimo y medio para ciclos de corta de 20, 40 y 60 años. Para ello, se determinaron los diámetros de los individuos que al presente están por debajo del DMC (diámetro mínimo de corta) y que, luego de realizar el aprovechamiento y transcurridos los ciclos de corta considerados, sobrepasarán dicho valor de diámetro y estarán disponibles para la cosecha futura. De esta manera, se define un rango de diámetros cuyo valor superior es el DMC y el valor inferior es aquel que contiene al individuo más pequeño que alcanzará el DMC transcurrido el ciclo de corta. Los rangos de diámetro fueron definidos para cada especie utilizando las curvas generadas a partir de la ecuación 1. Para ello se determinó el tiempo de cada individuo en alcanzar el DMC bajo condiciones de crecimiento máximo, mínimo o medio. Luego, restando los años para cada ciclo de corta propuesto y para cada tasa de crecimiento, se determinaron sobre la curva los valores de los puntos inferiores de los rangos. De esta manera, se definieron sobre la curva los parámetros DMC: diámetro mínimo de corta; t-Crec.med: Tiempo que le demanda a un individuo para alcanzar el DMC a tasa de crecimiento medio; t-Crec.med-20: (t-Crec.med – tiempo de ciclo de corta); R-Crec.med: rango de diámetro de individuos que a crecimiento medio y ciclo de corta de 20 años superarán el DMC una vez transcurrido el periodo. De manera similar se definen los rangos para las tasas de crecimiento máximo y mínimo como así también para los ciclos de corta de 40 y 60 años.

En la figura 1 se presenta de forma gráfica, a modo de ejemplo, la determinación de los rangos diamétricos sobre las curvas de incremento (DAP-tiempo) de *C. canjerana* para un ciclo de corta de 20 años y tasa de crecimiento media.

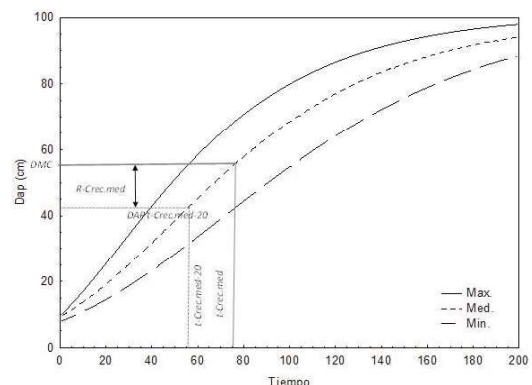


Figura 1. Curvas de incremento de *C. canjerana* y determinación de los valores de DAP máximo y mínimo de los individuos de futura cosecha determinados a partir del DMC y su DAP 20 años antes de alcanzar el DMC. Línea sólida: incremento máximo; línea punteada: incremento medio; línea cortada: incremento mínimo.

Figure 1: Age-diameter relations for *C. canjerana* and a representation of how minimum and maximum diameter range of future crop trees under a felling cycle of 20 years can be derived. Solid line: maximum growth rate; dotted line: median growth rate; broken line: minimum growth rate.

Una vez definido los rangos de diámetro y los individuos contenidos en los mismos, se estimó el diámetro que tendrían transcurrido el ciclo de corta considerado. Para ello se utilizó la ecuación 1 y el diámetro de cada uno de ellos, luego se sumó, a la edad actual estimada, el número de años del ciclo de corta considerado (20-40 y 60 años). Por último, con la misma ecuación, se determinó el diámetro futuro una vez transcurrido el ciclo de corta.

Estimación de corta o posibilidad

Para estimar los volúmenes y áreas basales a extraer, se definió la posibilidad para cada especie como todo el volumen o área basal por encima del DMC definido por la reglamentación provincial. Si bien la reglamentación menciona o sugiere dejar individuos semilleros, a los fines prácticos no se consideró este aspecto en los cálculos. En las tablas 3 y 4 se presentan el número de individuos, los volúmenes y las áreas basales a extraer por especie.

Regeneración y Mortalidad

La mortalidad varía entre las especies y en las clases diamétricas. Sin embargo, al no disponer de datos suficientes para todas las especies consideradas y para todas las clases diamétricas, la mortalidad natural durante el periodo o ciclo de corta considerado se estimó con un valor del 2%. Este valor no se aleja de las estimaciones preliminares realizadas en el sitio de estudio y se encuentra dentro de los valores mencionados para bosques tropicales y subtropicales (LIEBERMAN *et al.*, 1985; WHITMORE, 1990).

Además de la mortalidad natural, es necesario considerar la mortalidad causada durante el aprovechamiento. El nivel de daño y mortalidad generado por el aprovechamiento están relacionados a las técnicas de volteo y arrastre utilizadas y a la intensidad de la corta. Por lo tanto, su determinación o estimación debe ser considerada al evaluar ciclos de corta o intensidades de cosecha. En este caso y al tratarse de una simulación y no disponer de datos de mortalidad y daño durante el aprovechamiento, se utilizaron los modelos de ALDER y SILVA (2000) que estiman la mortalidad en función de la intensidad de corta definida por el número de individuos aprovechados y una posterior distribución del daño en las diferentes clases diamétricas.

$$Mab = 0,0058 * N + 0,0412$$

Donde Mab: % de área basal destruida; N: número de árboles apeados.

$$FM = -0,0215 * DAP + 1,7535$$

Donde FM: factor de mortalidad relativo; DAP: diámetro a la altura del pecho (cm).

La regeneración se consideró para incorporar en la recuperación del volumen y área basal en la finalización de cada ciclo de corta. Los valores o tasas de regeneración utilizados fueron obtenidos a partir de las remediciones de las parcelas permanentes asumiendo que los valores se

mantendrán similares luego del aprovechamiento. Para las estimaciones se consideró como regeneración a la tasa de incorporación en la clase inferior de DAP (10-15 cm). Posteriormente, se proyectó su crecimiento durante todo el periodo comprendido para cada ciclo de corta.

Estimación de volumen

Al realizar proyecciones para diferentes periodos o ciclos de corta y no poder estimar los valores futuros de las variables necesarias para la estimación de volúmenes mediante las fórmulas existentes, se procedió al ajuste de una función alométrica que utilice al DAP como variable independiente. Para ello se estimaron los volúmenes al momento de la medición inicial utilizando las fórmulas de volumen del 1er inventario nacional de bosques nativos. Con los volúmenes estimados se ajustó la función alométrica utilizando el DAP como variable predictora. Con esta fórmula alométrica se estimaron nuevamente los volúmenes iniciales y los volúmenes para cada ciclo de corta simulado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las distribuciones diamétricas de las especies consideradas mostraron escasa representación en las clases inferiores a excepción de *C. canjerana* que presentó una mayor tendencia a una distribución de J invertida. Similarmente, las clases superiores resultaron escasamente representadas con valores de menos de un individuo por hectárea para diámetros a la altura del pecho superiores a los 50 cm.

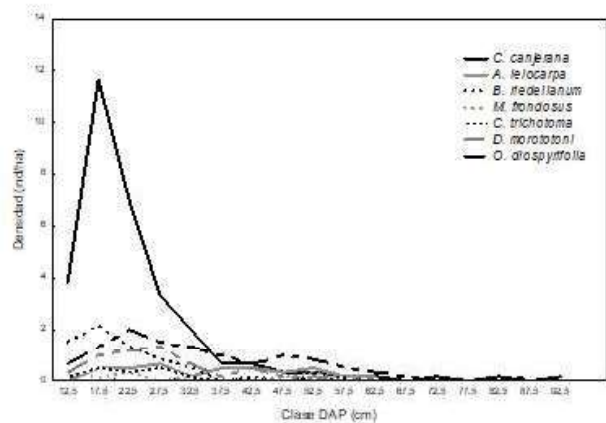


Figura 2. Distribuciones diamétricas para las especies analizadas.

Figure 2: Diameter distribution of analyzed species.

El bosque bajo estudio presentó una densidad de 300 individuos/hectárea y un área basal de 20,34 m²/hectárea. La posibilidad estimada aplicando los diámetros mínimos de corta (DMC) fue de 7,8 individuos/hectárea, 1,85 m²/ha de área basal y 13,03 m³/ha, representando una intensidad de corta del 9,1% del área basal existente. Si bien el número de individuos a extraer por hectárea se encuentra dentro de los valores mencionados para la región y el volumen es levemente superior al valor de 10 m³/ha autorizado actualmente como regla general por parte de la autoridad de aplicación provincial, este valor de volumen resulta menor

a reportes realizados para otras situaciones y está representado mayoritariamente en especies de valor comercial intermedio como *A. leiocarpa*, *C. cancharana*, *O. diospyrifolia* y *D. morotoni* que concentran el 89% del volumen aprovechable (tabla 3).

El ajuste de los modelos de crecimiento mediante las ecuaciones 1 y 2 resultó significativa y permitió la estimación de los valores de tiempo y DAP para los cálculos de la posibilidad para los ciclos de corta considerados. En la tabla 1 se presentan los valores de los parámetros de los modelos de crecimiento de RICHARDS (1959) para las especies bajo estudio.

Utilizando los modelos de crecimiento ajustados, los tiempos que le demanda a un individuo alcanzar el DMC resultó variable en función de la tasa de crecimiento de las especies y los valores de DMC reglamentados. *D. morotoni* y *O. diospyrifolia* presentaron los valores más bajos de tiempo para alcanzar el DMC necesitando 32 y 28 años mientras que *M. frondosus* y *A. leiocarpa* fueron las que demandaran más tiempo con valores de 102 y 76 años si crecieran a tasa máxima. Las proyecciones de crecimiento a tasa promedio arrojaron valores de 46 y 47 años para *D. morotoni* y *O. diospyrifolia* y 147 y 110 años para *M. frondosus* y *A. leiocarpa*. La tasa de crecimiento mínima resultó en 70 años para *D. morotoni* y 201 años para *M. frondosus* (tabla 2).

Los diámetros inferiores de los rangos de los individuos que sobrepasaran el DMC para cada ciclo de corta presentaron valores menores para las especies con mayores tasas de crecimiento y DMC más bajos. *C. trichotoma*, *D. morotoni*, *O. diospyrifolia*, *C. canjerana* y *B. riedelianum* presentaron los valores más bajos de diámetros inferiores para los diferentes ciclos de corta y tasas de crecimiento. En el caso de *D. morotoni* y *O. diospyrifolia* el rango abarcó todos los individuos de todas las clases diamétricas inferiores al DMC para un ciclo de corta de 40 años y tasas de crecimiento máximo como así también, todos los individuos para un ciclo de corta de 60 años a tasas de crecimiento máxima y media. En el caso de *C. trichotoma* y *C. canjerana* solo para un ciclo de corta de 60 años y con tasa máxima de crecimiento, todos los individuos menores al DMC fueron incluidos dentro del rango para el mencionado ciclo de corta. *B. riedelianum* con DMC de 40 cm de DAP y tasas de crecimiento intermedias, presentó dentro del rango a todos los individuos presentes para un ciclo de corta de 60 años a tasa máxima de crecimiento. Las especies con mayores DMC como *A. leiocarpa* y *M. frondosus*, coincidentes con las menores tasas de crecimiento, presentaron los valores más altos de diámetros inferiores de los rangos estimados para las diferentes tasas de crecimiento y ciclos de corta y por lo tanto los más cercanos al DMC (tabla 2).

La recuperación del stock a extraer según la regla del DMC a nivel de rodal resultó positiva a partir de un ciclo de corta de 40 años con amplios excedentes para un ciclo de 60 años para tasas de crecimiento máximo y medio. En cambio, para tasas de crecimiento mínimo, el stock total no se recuperaría aún bajo ciclos de corta de 60 años (tabla 3). Duraciones de ciclos de corta similares o mayores son recomendados en otras regiones de bosques tropicales

como periodos mínimos para recuperar el stock aprovechado. (BRIENEN y ZUIDEMA, 2006a; KAMMESCHIEDT et al. 2001; SIST et al., 2003). Similarmente, en bosques de la región, CAMPANELLO et al., (2019) y RIEGELHAUPT et al., (2009) mencionan ciclos de corta de 30 años en sitios con manejo de lianas y de 96 años para áreas sin manejo.

A nivel de especie, los valores de recuperación están íntimamente relacionados a las áreas basales y volúmenes a extraer, el crecimiento, las tasas de regeneración y las existencias por debajo del DMC de cada una de ellas en particular. La estimación de diferentes tasas de crecimiento permite visualizar diferentes escenarios de manejo y su impacto sobre la recuperación del stock de madera. De esta manera, la aplicación de manejo forestal que permita lograr un crecimiento máximo permitiría reducir la duración del ciclo de corta para recuperar el stock extraído por el aprovechamiento. La aplicación de técnicas de manejo como el corte lianas (CAMPANELLO et al., 2019; CAMPANELLO et al., 2012; PINAZO et al., 2014) y la liberación de individuos candidatos (WADSWORTH y ZWEEDE, 2006; VILLEGAS et al., 2009) producen un aumento significativo en las tasas de crecimiento. En contrapartida, las lianas, que son particularmente abundantes en áreas aprovechadas, reducen las tasas de crecimiento a nivel individuo, especie y rodal (CAMPANELLO et al., 2012; CAMPANELLO et al., 2019; PINAZO et al., 2012; PINAZO et al., 2014; RIEGELHAUPT et al., 2009). Si bien las tasas de crecimiento son determinadas por múltiples factores, podemos asumir que mediante manejo es posible lograr la tasa máxima de crecimiento y con ausencia de manejo se verificaría en la situación más favorable una tasa media de crecimiento.

En el presente estudio los volúmenes aprovechados para las especies seleccionadas son bajos en comparación a lo que se esperaría para un bosque con buen stock aprovechable. Por lo tanto, si se pretende aumentar los volúmenes a extraer en los sucesivos ciclos de corta futuros, estos ciclos deberán ser con periodos más largos para permitir la acumulación de stock de las especies más valiosas como *M. frondosus*, *C. trichotoma*.

Cada especie presenta diferentes distribuciones, tasas de regeneración, mortalidad y crecimiento, situación que genera variabilidad en la recuperación del stock a aprovechar a nivel de especies (BRIENEN y ZUIDEMA, 2006a; DAUBER et al., 2005; SIST et al., 2003). De esta manera las especies de rápido crecimiento y elevadas tasas de regeneración poseen mayores existencias para recuperar el stock como es el caso de *D. morotoni* y *C. canjerana*. En el otro extremo están las especies de lento crecimiento y escasa regeneración con menos existencias debajo del DMC, como es el caso de *M. frondosus*, que recuperan su stock a mayores periodos de tiempo. En cambio, especies como *O. diospyrifolia*, *A. leiocarpa*, *B. riedelianum* y *C. trichotoma* representan situaciones intermedias. *B. riedelianum* presenta bajas tasas de crecimiento, existencias suficientes debajo del DMC y buena regeneración lo que permite recuperar el stock a extraer de manera rápida y superando el stock existente. *C. trichotoma* no presenta una buena recuperación ya que posee baja frecuencia en las existencias y solo bajo el

escenario de tasa máxima de crecimiento o bajo ciclos largos podría recuperar de manera satisfactoria su stock. En el caso de *O. diospyrifolia* es posible visualizar el efecto de una extracción superior a la posibilidad de la especie. Esta especie es la que presenta la mayor tasa de extracción y a

pesar de presentar buenas tasas de crecimiento no recupera su stock. En cambio, *A. leiocarpa* presenta una buena recuperación ya que la extracción de los volúmenes por encima del DMC es rápidamente compensado por las existencias menores a dicho diámetro (tabla 3).

Tabla 1. Parámetros de la función de RICHARDS (1959) ajustados a partir de las curvas estimadas por el modelo de LIEBERMAN y LIEBERMAN (1985) para la mediana (Med) y percentiles del 90% (Max) y 10% (Min) correspondientes a 1000 simulaciones de crecimiento.

Table 1: RICHARDS (1959) growth function parameters adjusted from Max: 90% percentil age-time relation; Med: median age-time relation; Min: 10% percentil age-time relation derived from 1000 simulations from LIEBERMAN and LIEBERMAN (1985) model.

		D	k	m	b	F	P
<i>C. canjerana</i>	Max	100,9805	0,0201	0,6980	0,5091	2939,0470	<0,0001
	Med	99,7730	0,0187	1,0237	-0,058	12491,5994	<0,0001
	Min	102,1895	0,0149	1,0752	-0,213	18601,4878	<0,0001
<i>A. leiocarpa</i>	Max	73,8372	0,0162	0,1768	0,7316	1766,1216	<0,0001
	Med	74,5212	0,0115	0,2699	0,7048	2557,4445	<0,0001
	Min	79,1406	0,0073	0,3046	0,7152	7666,1883	<0,0001
<i>B. riedelianum</i>	Max	52,8515	0,0555	1,7889	-2,6734	960,5889	<0,0001
	Med	50,8379	0,0429	2,2781	-7,1889	6117,5825	<0,0001
	Min	67,4610	0,0133	1,0906	-0,2014	2401,8641	<0,0001
<i>M. frondosus</i>	Max	77,4432	0,0083	-0,5147	0,9429	14091,2623	<0,0001
	Med	78,7215	0,006	-0,3327	0,9163	22057,0685	<0,0001
	Min	81,0071	0,0045	-0,1401	0,8813	25682,6671	<0,0001
<i>C. trichotoma</i>	Max	56,0338	0,0967	3,1093	-19,2829	1469,6610	<0,0001
	Med	52,3981	0,0724	3,347	-23,7425	4489,7153	<0,0001
	Min	69,9768	0,0231	1,851	-3,3894	642,9727	<0,0001
<i>D. morototoni</i>	Max	61,9701	0,1112	3,8719	-89,7447	2056,8992	<0,0001
	Med	59,9691	0,1001	4,8146	-361,8299	4321,3102	<0,0001
	Min	66,7991	0,037	2,5423	-15,9956	1896,4368	<0,0001
<i>O. diospyrifolia</i>	Max	88,5687	0,0194	0,4841	0,6596	2120,4475	<0,0001
	Med	89,9757	0,0159	0,9098	0,1712	5191,5351	<0,0001
	Min	103,1007	0,0092	0,7211	0,5086	11601,6388	<0,0001

Tabla 2. Tiempos para alcanzar el diámetro mínimo de corta para las diferentes especies, tasas de crecimiento y valores umbrales de DAP para los ciclos de corta considerados en las proyecciones. DMC: diámetro mínimo de corta; TDMC: tiempo para que un individuo de 10 cm DAP alcance el DMC en función de la tasa de crecimiento máxima (Tmax), media (Tmed) y mínima (Tmin); Max, Med, Min: valor de DAP umbral que debe tener un individuo para alcanzar el DMC en el periodo considerado para cada ciclo de corta y para cada tasa de crecimiento.

Table 2. Time to reach their Minimum Cutting Diameter of the studied species, growth rates and diameter range for different cutting cycles. DMC: minimum cutting diameter; TDMC: time for a 10 cm DHB to reach the DMC under maximum growth rate (Tmax), mean (Tmed) and minimum (Tmin); Max, Med, Min: minimum DHB threshold of a tree must have to reach the DMC after a cutting cycle and different growth rates.

Especie	DMC (cm)	TDMC			Ciclo corta 20 años			Ciclo corta 40 años			Ciclo corta 60 años		
		Tmax (años)	Tmed (años)	Tmin (años)	Max (cm)	Med (cm)	Min (cm)	Max (cm)	Med (cm)	Min (cm)	Max (cm)	Med (cm)	Min (cm)
<i>C. canjerana</i>	55	55	75	100	38,6	42	44,4	21,1	28,5	33,6	-	16,3	23,4
<i>A. leiocarpa</i>	55	76	110	159	48,3	50,2	51,4	39	44,4	47,4	26,9	37,3	42,9
<i>B. riedelianum</i>	40	42	70	107	25,3	31,5	34,3	11,2	21,6	28,1	-	13,1	21,8
<i>M. frondosus</i>	55	102	147	201	50,5	51,8	52,5	44,8	48	49,7	37,6	43,7	46,6
<i>C. trichotoma</i>	50	44	74	101	33,9	44,4	42,7	16	32,7	34,4	-	20	26,1
<i>D. morototoni</i>	40	32	46	70	20,3	25,1	29,6	-	15	20,3	-	-	13,3
<i>O. dyospyrifolia</i>	35	28	47	73	17,7	24,3	26,9	-	14,2	19,1	-	-	12

Tabla 3: Volumen (m³/ha) a extraer para las especies consideradas, según Diámetro Mínimo de Corta y valores simulados de recuperación del volumen para ciclos de corta de 20, 40 y 60 años bajo escenarios de crecimiento máximo (Crec.Max.), medio (Crec.Med.) y mínimo (Crec.Min.). Entre paréntesis se indican los valores porcentuales (%) respecto al volumen a extraer.

Table 3: Harvested volumen (m³/ha) for studied species under Minimum Cutting Diameter and values of simulated volume recovery for 20, 40 and 60 years of felling cycles, and different growth scenarios: maximum growth rates (Crec.Max.), Median growth rates (Crec.Med.) and minimum growth rates (Crec.Min.). In parentheses are the percentages of harvesting volume.

Especie	Posibilidad DMC		Ciclo 20 años			Ciclo 40 años			Ciclo 60 años		
			Crec. Max.	Crec. Med.	Crec. Min.	Crec. Max.	Crec. Med.	Crec. Min.	Crec. Max.	Crec. Med.	Crec. Min.
	m ³ /ha	ind/ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
<i>C. canjerana</i>	3,18	0,83	1,72 (54,3)	0,99 (31,1)	0,77 (24,2)	9,89 (311,4)	3,81 (119,9)	2,02 (63,6)	22,86 (719,8)	12,50 (393,5)	5,19 (163,3)
<i>A. leiocarpa</i>	0,6	0,33	0,68 (114,1)	0,49 (81,9)	0,32 (53,1)	1,00 (166,7)	0,71 (118,4)	0,47 (78,2)	1,25 (208,5)	0,77 (127,6)	0,57 (94,4)
<i>B. riedelianum</i>	0,35	0,33	0,75 (213,5)	0,17 (47,5)	0,15 (43,5)	2,40 (679,0)	0,82 (233,2)	0,29 (82,1)	2,47 (700,7)	1,40 (395,9)	0,58 (164,2)
<i>M. frondosus</i>	0,88	0,33	0,35 (39,3)	0,33 (37,8)	0,32 (36,8)	0,38 (42,9)	0,25 (28,2)	0,24 (27,0)	0,29 (32,7)	0,18 (21,0)	0,17 (19,8)
<i>C. trichotoma</i>	0,26	0,17	0 0	0 0	0 0	0,80 (313,5)	0 0	0 0	0,67 (260,2)	0,33 (130,3)	0,18 (69,1)
<i>D. morototoni</i>	1,16	1	2,22 (190,4)	1,30 (111,6)	0,46 (39,2)	3,20 (274,6)	2,34 (201,2)	1,45 (124,3)	2,74 (235,3)	2,16 (185,8)	1,58 (136,0)
<i>O. diospyrifolia</i>	6,6	4,83	2,85 (43,2)	1,47 (22,3)	0,90 (13,7)	4,38 (66,4)	2,55 (38,6)	1,82 (27,6)	5,69 (86,2)	3,13 (47,4)	1,99 (30,2)
Total	13,03		8,58 (65,8)	4,75 (36,5)	2,92 (22,4)	22,05 (169,3)	10,48 (80,4)	6,28 (48,2)	36,03 (276,5)	20,47 (157,1)	10,26 (78,8)

Tabla 4: Volumen (m³/ha) originado a partir de las incorporaciones estimadas para las especies consideradas, que superaran el Diámetro Mínimo de Corta luego de transcurridos los ciclos de corta de 20, 40 y 60 años bajo escenarios de crecimiento máximo (Crec.Max.), medio (Crec.Med.) y mínimo (Crec.Min.). Entre paréntesis se indican los valores porcentuales (%) respecto al volumen recuperado en el ciclo de corta.

Table 4: Harvestable volume (m³/ha) of predicted ingrowth of trees that can potentially exceed the Minimum Cutting Diameter for felling cycles of 20, 40 and 60 years, and different growth scenarios: maximum growth rates (Crec. Max.), Median growth rates (Crec.Med.) and minimum growth rates (Crec.Min.). In parentheses are the percentages of projected harvesting volume.

Especie	Ciclo 20 años			Ciclo 40 años			Ciclo 60 años		
	Crec. Max.	Crec. Med.	Crec. Min.	Crec. Max.	Crec. Med.	Crec. Min.	Crec. Max.	Crec. Med.	Crec. Min.
	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
<i>C. canjerana</i>	-	-	-	-	-	-	1,98 (62,3)	-	-
<i>A. leiocarpa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>B. riedelianum</i>	-	-	-	-	-	-	0,48 (137,1)	-	-
<i>M. frondosus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. trichotoma</i>	-	-	-	-	-	-	0,07 (26,9)	-	-
<i>D. morototoni</i>	-	-	-	0,10 (8,6)	-	-	0,41 (35,3)	0,15 (12,9)	-
<i>O. diospyrifolia</i>	-	-	-	0,59 (8,9)	-	-	1,74 (26,4)	0,45 (6,8)	-

Un aspecto importante a mediano y largo plazo es la regeneración de las especies bajo aprovechamiento. La estimación del aporte de la regeneración a la recuperación de stock nos indica la factibilidad de poder lograr la sostenibilidad del manejo aplicado, la necesidad de acciones de estimulación al proceso de regeneración natural o la necesidad de recurrir a técnicas de regeneración artificial como es el enriquecimiento (ZIMMERMAN y KORMOS, 2012). El aporte de la regeneración o incorporaciones, esto quiere decir, el aporte al área basal y volumen por encima del DMC de los individuos que se incorporan a la clase de 10 cm DAP y crecen durante el ciclo de corta, fue variable en función de la especie y el ciclo de corta considerado. *C. canjerana*, *B. riedelianum* y *C. trichotoma* presentaron aportes de la regeneración para la recuperación de la posibilidad solo para un ciclo de corta de 60 años y con tasas máximas de crecimiento. *D. morototoni* y *O. diopyrifolia* mostraron aportes para ciclos de 40 años a tasa máxima de crecimiento y a tasa máxima y media para el ciclo de 60 años. Sin embargo, los aportes de la regeneración para estas especies son menores a los exhibidos por *C. canjerana* y *B. riedelianum*. En los casos de *A. leiocarpa* y *M. frondosus* no se verificaron individuos que se incorporen a la clase de 10 cm de DAP y puedan desarrollarse hasta superar el DMC para los ciclos de corta considerados. Esto indica que, aun con la aplicación de medidas de estímulo sobre la regeneración de estas especies y bajo un escenario de máximo crecimiento, se debería considerar tiempos muy superiores a los 60 años y por lo tanto se debería poner especial atención a la regulación de estas especies. En contrapartida, especies como *D. morototoni*, *C. canjerana*, *B. riedelianum* y *C. trichotoma* con valores porcentuales de participación en la recuperación del stock de más del 30%, nos permitiría una mayor flexibilidad en el manejo y en la regulación de los stocks de las especies bajo un escenario de crecimiento máximo (tabla 4).

La realización de un manejo forestal sostenible demanda la estimación del crecimiento y la proyección de los parámetros estructurales de un bosque. Para estas estimaciones es posible aplicar diferentes metodologías o herramientas predictivas. En el caso bajo estudio, la metodología utilizada para realizar las proyecciones involucró la utilización de modelos ajustados para la situación particular estudiada. Si bien el ajuste y utilización de los modelos propuestos no puede extrapolarse de manera general a toda la selva misionera, su aplicación puede considerarse como una herramienta para la realización de planes de ordenación a nivel de unidad de manejo. De esta manera es posible estimar los ciclos de corta y recuperación del stock a nivel de especie en función de los crecimientos y existencias por debajo del DMC con la disponibilidad de datos de crecimiento provenientes de parcelas de muestreo permanentes.

Los crecimientos estimados y proyectados a partir de datos obtenidos a partir de parcelas permanentes de muestreo pueden subestimar el crecimiento de los individuos al considerar tasas de crecimiento promedio a nivel de especie o de clase diamétrica. Estudios basados en anillos de crecimiento pueden representar estimaciones más ciertas del crecimiento y edades de los individuos y especies. Sin embargo, estos estudios resultan complejos y dificultoso

para ser realizados por los propietarios de los bosques bajo manejo (BRIENEN y ZUIDEMA, 2006a; BRIENEN y ZUIDEMA, 2006b). Las estimaciones de incremento obtenidas mediante las simulaciones basadas en crecimientos reales propuesta por LIEBERMAN y LIEBERMAN (1985) nos permiten asumir que estos crecimientos pueden representar situaciones reales factibles de ser utilizadas para el manejo del bosque.

En la metodología utilizada se asumieron tasas de crecimiento, mortalidad y regeneración post aprovechamiento a partir de datos y modelos de la literatura representando una simplificación de la situación real. A pesar de ello, la metodología puede ser utilizada a nivel de unidad de manejo para la planificación de las cortas e indicar a las autoridades provinciales la necesidad de considerar la aplicación de intensidades de corta y ciclos de corta basados en estimaciones de existencias, tasas de crecimiento, mortalidad y regeneración de las unidades de manejo.

CONCLUSIÓN

El análisis realizado en el presente trabajo asume que las tasas de crecimiento y de regeneración no cambian durante los sucesivos ciclos de corta. Por lo tanto, las estimaciones pueden subestimar o sobreestimar los volúmenes al finalizar los ciclos de corta. La realización de investigaciones y monitoreo de estos aspectos permitirán estimaciones más precisas para la correcta planificación de los planes de manejo. Los resultados estimados para el bosque bajo estudio indican que, bajo la aplicación de la regla de DMC como herramienta de regulación, demanda la aplicación de ciclos de cortas superiores a los 40 años para recuperar el stock extraído bajo un escenario de crecimiento máximo. Aun asumiendo que la tasa de crecimiento medio es posible bajo un escenario de ausencia de manejo, es necesario un ciclo de alrededor de 60 años para lograr la recuperación del stock a nivel de bosque. Sin embargo, a nivel de especie el ciclo de corta para que se logre la recuperación de su stock es variable y demanda una planificación y regulación en cada caso particular si se pretende un flujo continuo de madera de cada una de ellas. Si se pretende mantener un ciclo de corta menor bajo la regla del DMC, el cálculo de la posibilidad a extraer debería considerar las existencias por debajo del DMC y el crecimiento de los individuos de clases diamétricas inferiores al DMC para solo extraer el crecimiento, permitir la recuperación del stock bajo el ciclo de corta propuesto y asegurar la sostenibilidad en la obtención de madera para las diferentes especies. Actualmente en la provincia de Misiones se aplican, en los planes de manejo, ciclos de corta de 10-15 años poniendo en evidencia la posible falta de sostenibilidad a mediano plazo y la posible degradación rápida del potencial productivo del bosque.

BIBLIOGRAFÍA

ALDER, D.; Silva, J.N.M. 2000. An empirical cohort model for management of Terra Firme forests in the Brazilian

- Amazon. *Forest Ecology and Management* 130: 141-157.
- BRIENEN, R.J.W.; Zuidema, P.A. 2006a. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management* 226: 256-267.
- BRIENEN, R.J.W.; Zuidema, P.A. 2006b. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology* 94: 481-493.
- CABRERA, A.L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Buenos Aires: Enciclopedia Argentina de Agric. y Jardinería. 2º ed., Tomo II, 85p.
- CAMPANELLO, P. I.; Villagra, M.; Garibaldi, J. F.; Ritter, L. J.; Araujo, J. J.; Goldstein, G. 2012. Liana abundance, tree crown infestation, and tree regeneration ten years after liana cutting in a subtropical forest. *Forest Ecology and Management* 284:213-221.
- CAMPANELLO, P.I.; Von Below, J.; Hilgert, N.I.; Cockle, K.L.; Di Francescantonio, D.; Garcia, D.S.; Jaramillo, M.; Gauto, O.A.; Goldstein, G. 2019. ¿Es posible el uso sostenible del bosque en Misiones?. Necesidades de manejo a diferentes escalas, investigación, intervenciones de alto impacto y más recursos económicos. *Ecología Austral* 29: 122-137.
- CORREA DE TEMCHUK, M; Olinuk, JA; Pedemonte, R. 2003. Contornos de lluvia para la provincia de Misiones. Análisis geoestadístico. Informe Técnico 85. EEA Cerro Azul. 23p.
- DAUBER, E.; Fredericksen, T.S.; Peña, M. 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management* 214: 294-304.
- FREDERICKSEN, T.S.; Putz, F.E. 2003. Silvicultural intensification for tropical forest conservation. *Biodiversity and Conservation* 12: 1445-1453.
- KAMMESCHIEDT, L.; Torres Lezama, A.; Franco, W.; Plonczak, M. 2001. History of logging and silvicultural treatment in the western Venezuelan plain forests and the prospect for sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 148: 1-20.
- LIEBERMAN, M.; Lieberman, D. 1985. Simulation of growth curves from periodic increment data. *Ecology* 66: 632-635.
- LIEBERMAN, D.; Lieberman, M.; Peralta, R.; Hartshorn, G.S., 1985. Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica. *Journal Ecology*. 73: 915-924.
- PUTZ, F.E.; Zuidema, P.A.; Synnott, T.; Peña-Claros, M.; Pinard, A.; Sheil, D.; Vanclay, J.K.; Sist, P.; Gourlet-Fleury, S.; Bronson Griscom, B.; Palmer, J.; Roderick Zagt, R. 2012. Sustaining conservation values in selectively logged tropical forests: the attained and the attainable. *Conservation Letters* 5:296-303.
- PINAZO, M. A.; Dummel, C. J.; Moscovich, F. A.; Knebel, O. E. 2012. Efecto del corte de lianas y tacuaras sobre las incorporaciones, mortalidad y crecimiento en un bosque aprovechado en el norte de Misiones, Argentina. 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones, Argentina.
- PINAZO, M. A.; Dummel, C.J.; Moscovich, F.A. 2014. Aplicación de corta de lianas y tacuaras como práctica para la recuperación y manejo de bosques nativos aprovechados en la Selva Paranaense. Estudio de caso. Jornadas Técnicas, Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM. Eldorado, Misiones. Argentina.
- RICHARDS F.J. 1959. A Flexible Growth Function for Empirical Use. *Journal of Experimental Botany* 10: 290-300.
- RIEGELHAUPT, E.; Bacalini, P.; T. Arias Chalico, T.; Mora Ardila, F.; Burkart, R. 2009. Proyecto: Ensayo de técnicas simples de manejo para el aumento de la productividad maderera y conservación de la biodiversidad en la Selva Misionera. Evaluación de resultados de mortalidad, reclutamiento y crecimiento a siete años de aplicados los tratamientos de manejo. En B. Carpinetti, M. Garciarena and M. Almirón (eds.). Parque Nacional Iguazú, Conservación y desarrollo en la Selva Paranaense de Argentina. Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires, Argentina. Pp. 135-224
- SIST, P.; Fimbel, R.; Sheil, D.; Nasir, R.; Chevallier, M.E. 2003. Towards sustainable management of mixed dipterocarp forests of Southeast Asia: moving beyond minimum diameter cutting limits. *Environmental Conservation* 30: 364-374.
- VANCLAY, J. K. 2003. Growth modeling and yield prediction for sustainable forest management. *The Malaysian Forester* 66:58-69.
- VANCLAY, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests, CAB International, Wallingford, Reino Unido. 312 p.
- VILLEGAS, Z.; Peña-Claros, M.; Mostacedo, B.; Alarcón A.; Licona, J.C.; Leñaño, C.; Pariona, W.; Choque, U. 2009. Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 258: 971-979.
- WADSWORTH, F.H.; Zweede, J.C. 2006. Liberation: Acceptable production of tropical forest timber. *Forest Ecology and Management* 233: 45-51.

WHITMORE, T.C. 1990. An Introduction to Tropical Rainforests. Clarendon Press, Blackwell Publishing, Ltd., Oxford. 282 Pp.

ZIMMERMAN, B.L.; Kormos, C.F. Prospects for Sustainable Logging in Tropical Forests. Bioscience 62: 479-487.